

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-12735

(43)公開日 平成11年(1999)1月19日

(51)Int.Cl.⁶

C 23 C 16/26
16/50

識別記号

F I

C 23 C 16/26
16/50

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全7頁)

(21)出願番号 特願平9-168682

(22)出願日 平成9年(1997)6月25日

(71)出願人 000002174

積水化学工業株式会社

大阪府大阪市北区西天満2丁目4番4号

(72)発明者 屋良 韶也

大阪府三島郡島本町百山2-1 積水化学
工業株式会社内

(72)発明者 湯浅 基和

大阪府三島郡島本町百山2-1 積水化学
工業株式会社内

(54)【発明の名称】 ダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法

(57)【要約】

【課題】 大気圧近傍の圧力の下で、ガス雰囲気を問わず、均一な放電プラズマを発生させて、ダイヤモンド状炭素薄膜を基材表面に高速、且つ、低温で製造する方法を提供する。

【解決手段】 大気圧近傍の圧力下で、対向電極の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、炭素並びに酸素及び/又は水素を含有するガス雰囲気下で、当該対向電極間にパルス化された電界を印加することにより放電プラズマを発生させることを特徴とする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 大気圧近傍の圧力下で、対向電極の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、炭素並びに酸素及び／又は水素を含有するガス雰囲気下で、当該対向電極間にパルス化された電界を印加することにより放電プラズマを発生させることを特徴とするダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法。

【請求項2】 対向電極間の放電電流密度が0.2～300mA/cm²である放電プラズマを利用することを特徴とする請求項1に記載のダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法。

【請求項3】 立ち上がり時間及び／又は立ち下がり時間が40ns～100μs、電界強度が1～100kV/cmであるパルス電界を印加することを特徴とする請求項1又は2に記載のダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法。

【請求項4】 パルス化された電界に於ける、周波数が1～100kHz、パルス継続時間が1～1000μsとなされていることを特徴とする請求項1、2又は3に記載のダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、大気圧近傍の圧力下に於いて、放電プラズマを利用して、基材の表面にダイヤモンド状炭素薄膜を製造する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 ダイヤモンド状炭素薄膜は、硬度、高屈折率、電気導電性など優れた物性を有しており、装飾用、工具用、電子デバイス用など被覆材料として幅広い用途に使用されつつある。

【0003】 従来より、ダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法としては、熱CVD法、プラズマCVD法、イオンビーム法、イオンブレーティング法等が知られており、例えば、特開昭58-91100号公報には、熱CVD法により、炭素含有ガスと水素ガスを用いて、ダイヤモンド状炭素薄膜を形成する方法が記載されており、特開昭64-31974号公報には、プラズマCVD法により、炭素含有ガスと不活性ガスを用いて、成膜する方法が記載されている。

【0004】 しかしながら、上記熱CVD法及びプラズマCVD法は、真空度が低い状態で成膜するため、生成した炭素含有活性種が基材表面に到達する前に、該活性種同士が衝突して、別種の活性種を生成し、純粋なダイヤモンド状炭素薄膜が形成されず、更に、基材温度が800°C以上の高温であるため、特定の基材にしか成膜できないという欠点を有していた。又、低圧条件下に於ける薄膜合成は、真空設備が必要である上に、プラズマ密度が大きくならず、成膜速度が遅い。これらはコスト的に工業的には不利であるため、電子部品、光学部品等の高価な処理品に対してしか適応されていない。

【0005】 このため、大気圧近傍の圧力下で放電プラズマを発生させる方法が提案され、例えば、特開平2-48626号公報には、ヘリウム雰囲気下で処理を行う方法が開示されており、又、特開平4-74525号公報には、アルゴンとアセトン及び／又はヘリウムからなる雰囲気下で処理を行う方法が開示されている。

【0006】 しかし、上記の方法は、いずれもヘリウム又はアセトンを含有するガス雰囲気でプラズマを発生させる方法であり、ガス雰囲気が限定され、これらのガス雰囲気下では、ダイヤモンド状炭素薄膜が生成するのに十分な電子密度が得られない。このため、大気圧近傍の圧力下では、ダイヤモンド状炭素薄膜を作ろうとする試みはなされていなかった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、上述のような問題を解消するためになされたものであり、大気圧近傍の圧力の下で、均一且つ電子密度の高い放電プラズマを発生させて、ダイヤモンド状炭素薄膜を基材表面に高速、且つ、低温で製造する方法を提供する。

【0008】

【課題を解決するための手段】 本願の請求項1に記載の発明（以下、第1発明という）のダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法は、大気圧近傍の圧力下で、対向電極の少なくとも一方の対向面に固体誘電体を設置し、炭素並びに酸素及び／又は水素を含有するガス雰囲気下で、当該対向電極間にパルス化された電界を印加することにより放電プラズマを発生させることを特徴とする。

【0009】 本願の請求項2に記載の発明（以下、第2発明という）のダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法は、第1発明に於いて、対向電極間の放電電流密度が0.2～300mA/cm²である放電プラズマを利用することを特徴とする。

【0010】 本願の請求項3に記載の発明（以下、第3発明という）のダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法は、第1発明又は第2発明に於いて、立ち上がり時間及び／又は立ち下がり時間が40ns～100μs、電界強度が1～100kV/cmであるパルス電界を印加することを特徴とする。

【0011】 本願の請求項4に記載の発明（以下、第4発明という）のダイヤモンド状炭素薄膜の製造方法は、第1発明、第2発明又は第3発明に於いて、パルス化された電界に於ける、周波数が1～100kHz、パルス継続時間が1～1000μsとなされていることを特徴とする。

【0012】 上記発明に於いて、第1発明～第4発明は、相互に関連する発明であるので、これらを纏めて本発明と呼び、以下に説明する。

【0013】 本発明に於いて、大気圧近傍の圧力下とは、100～800Torrの圧力下を指す。圧力調整が容易で、装置が簡便になる700～780Torrの

範囲が好ましい。

【0014】本発明のプラズマ発生方法は、一对の対向電極を有し、当該電極の対向面の少なくとも一方に固体誘電体が設置されている装置に於いて行われる。プラズマが発生する部位は、上記電極の一方に固体誘電体を設置した場合は、固体誘電体と電極の間、上記電極の双方に固体誘電体を設置した場合は、固体誘電体同士の間の空間である。

【0015】上記電極としては、銅、アルミニウム等の金属単体、ステンレス、真鍮等の合金、金属間化合物等からなるものが挙げられる。上記対向電極は、電界集中によるアーク放電の発生を避けるために、対向電極間の距離が略一定となる構造であることが好ましい。この条件を満たす電極構造としては、平行平板型、円筒対向平板型、球対向平板型、双曲対向平板型、同軸円筒型構造等が挙げられる。

【0016】上記固体誘電体は、上記電極の対向面の一方又は双方に設置する。この際、固体誘電体と設置される側の電極が密着し、且つ、接する電極の対向面を完全に覆うようにする。固体誘電体によって覆われずに電極同士が直接対向する部位があると、そこからアーク放電が生じるためである。

【0017】上記固体誘電体としては、ポリテトラフルオロエチレン、ポリエチレンテレフタレート等のプラスチック、ガラス、二酸化珪素、酸化アルミニウム、二酸化ジルコニウム、二酸化チタン等の金属酸化物、チタン酸バリウム等の複酸化物等が挙げられる。

【0018】上記固体誘電体の形状は、シート状でもフィルム状でもよいが、厚みが0.05~4mmであることが好ましい。厚すぎると放電プラズマを発生するのに高電圧を要し、薄すぎると電圧印加時に絶縁破壊が起りアーケ放電が発生するためである。

【0019】上記電極間の距離は、固体誘電体の厚さ、印加電圧の大きさ、プラズマを利用する目的等を考慮して決定されるが、1~50mmであることが好ましい。1mm未満では、電極間の間隔を置いて設置するのに充分でない。50mmを超えると、均一な放電プラズマを発生させることが困難である。

【0020】図1にパルス電圧波形の例を示す。波形(A)、(B)はインパルス型、波形(C)は方形波型、波形(D)は変調型の波形である。図1には電圧印加が正負の繰り返しであるものを挙げたが、正又は負のいずれかの極性側に電圧を印加するタイプのパルスを用いても良い。

【0021】本発明に於けるパルス電圧波形は、ここで挙げた波形に限定されないが、パルスの立ち上がり時間及び立ち下がり時間が短いほどプラズマ発生の際のガスの電離が効率よく行われる。

【0022】特に、パルスの立ち上がり時間及び/又は立ち下がり時間が40ns~100μsであることが好

ましく、より好ましくは50ns~5μsである。40ns未満では現実的でなく、100μsを超えると放電状態がアークに移行し易く不安定なものとなる。尚、ここでいう立ち上がり時間とは、電圧変化が連続して正である時間、立ち下がり時間とは、電圧変化が連続して負である時間を指すものとする。

【0023】更に、パルス波形、立ち上がり時間、周波数の異なるパルスを用いて変調を行ってもよい。このような変調は高速連続製造を行うのに適している。

【0024】パルス電界の周波数は、1kHz~100kHzであることが好ましい。1kHz未満であると処理に時間がかかりすぎ、100kHzを超えるとアーク放電が発生し易くなる。

【0025】又、パルス継続時間は、1μs~1000μsであることが好ましく、より好ましくは3μs~200μsである。1μs未満であると放電が不安定なものとなり、1000μsを超えるとアーク放電に移行し易くなる。ここに於いて、上記のパルス継続時間とは、図2中に例を示してあるが、ON、OFFの繰り返しからなるパルス電界に於ける、パルスが連続する時間をいう。図2(a)のような間欠型のパルスでは、パルス継続時間はパルス幅時間と等しいが、図2(b)のような波形のパルスでは、パルス幅時間と異なり、一連の複数のパルスを含んだ時間をいう。

【0026】更に、放電を安定させるためには、放電時間1ms内に、少なくとも1μs継続するOFF時間を有することが好ましい。

【0027】上記放電は電界の印加によって行われる。電界の大きさは適直決められるが、本発明に於いては、電極間の電界強度が1~100kV/cmとなる範囲にすることが好ましい。電界強度が1kV/cm未満であるとダイヤモンド薄膜形成に時間がかかりすぎ、100kV/cmを超えるとアーク放電が発生し易くなる。又、上記パルス電圧の印加に於いて、直流を重畠してもよい。

【0028】図3に、このようなパルス電界を印加する際の電源のブロック図を示す。更に、図4に、電源の等価回路図を示す。図4にSWと記されているのはスイッチとして機能する半導体素子である。上記スイッチとして500ns以下のターンオン時間及びターンオフ時間有する半導体素子を用いることにより、上記のような電界強度が1~100kV/cmであり、且つ、パルスの立ち上がり時間及び立ち下がり時間が40ns~100μsであるような高電圧、且つ、高速のパルス電界を実現することができる。

【0029】以下、図4の等価回路図を参照して、電源の原理を簡単に説明する。+Eは、正極性の直流電圧供給部、-Eは、負極性の直流電圧供給部である。SW1~4は、上記のような高速半導体素子から構成されるスイッチ素子である。D1~4はダイオードを示してい

る。I₁～I₄は電流の流れ方向を表している。

【0030】第一に、SW1がONになると、正極性の負荷が電流I₁の流れ方向に充電する。次に、SW1がOFFになってから、SW2を瞬時にONにより、充電された電荷が、SW2とD4を通ってI₂の方向に充電される。また次に、SW2がOFFになってから、SW3をONになると、負極性の負荷が電流I₃の流れ方向に充電する。次に、SW3がOFFになってから、SW4を瞬時にONにより、充電された電荷が、SW4とD2を通ってI₄の方向に充電される。上記一連の操作を繰り返し、図5の出力パルスを得ることができる。表1にこの動作表を示す。

【0031】

【表1】

	①	②	③	④	⑤
SW1	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
SW2	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
SW3	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
SW4	OFF	OFF	OFF	OFF	ON

【0032】この回路の利点は、負荷のインピーダンスが高い場合であっても、充電されている電荷をSW2とD4又はSW4とD2を動作させることによって確実に放電することができる点、及び、高速ターンオンのスイッチ素子であるSW1、SW3を使って高速に充電を行うことができる点にあり、このため、図5のように立ち上がり時間、立ち下り時間の非常に早いパルス信号を得ることができる。

【0033】上記の方法により得られる放電に於いて、対向電極間の放電電流密度は、0.2～300mA/cm²であることが好ましい。

【0034】上記放電電流密度とは、放電により電極間に流れる電流値を、放電空間に於ける電流の流れ方向と直交する方向の面積で除した値をいい、電極として平行平板型のものを用いた場合には、その対向面積で上記電流値を除した値に相当する。本発明では、電極間にパルス電界を形成するため、パルス状の電流が流れるが、この場合には、そのパルス電流の最大値、つまりピーク～ピーク値を、上記の面積で除した値をいう。

【0035】大気圧近傍の圧力下でのグロー放電では、放電電流密度がプラズマ密度を反映し、ダイヤモンド状炭素薄膜の製造を左右する値であることが、本発明者らの研究により明らかにされており、電極間の放電電流密度を前記した0.2～300mA/cm²の範囲とすることにより、均一且つ高電子密度である放電プラズマを発生して良好なダイヤモンド状炭素薄膜の製造結果を得ることができる。

【0036】本発明に於いては、炭素並びに酸素及び／又は水素を含有するガス（以下、原料ガスと呼ぶ）雰囲気下で放電プラズマを発生させる。上記原料ガスは、そ

れぞれが別の化合物として存在しても良いが、例えば、炭素と酸素を有する化合物、炭素と水素を有する化合物、炭素と酸素と水素を化合物を用いても良い。

【0037】原料ガスを具体的に例示すると、メタノール、エタノール等のアルコール系ガス類、メタン、エタン、プロパン、ブタン、ペンタン、ヘキサン等のアルカン系ガス類、エチレン、プロピレン、ブテン、ペンテン等のアルケン系ガス類、ペントジエン、ブタジエン等のアルカジエン系ガス類、アセチレン、メチルアセチレン等のアルキン系ガス類、ベンゼン、トルエン、キシレン、インデン、ナフタレン、フェナントレン等の芳香族炭化水素系ガス類、シクロプロパン、シクロヘキサン等のシクロアルカン系ガス類、シクロベンテン、シクロヘキセン等のシクロアルケン系ガス類、一酸化炭素、二酸化炭素等の含酸素炭素化合物系ガスなどが挙げられ、これらの少なくとも1種が使用できる。

【0038】上記の炭素含有ガスを二種以上使用する場合、一つの構成成分として二酸化炭素ガスを使用することが好ましく、その割合は、二酸化炭素ガス以外の炭素含有ガス/二酸化炭素ガスの混合比率として、1/1～1/3（v/o比）であることが好ましい。二酸化炭素ガスの比率が上記の範囲であると、ダイヤモンド状炭素薄膜の形成速度向上の上で有利である。

【0039】炭素含有ガスのガス雰囲気中に占める濃度は、2～80v/o1%が好ましい。濃度が2v/o1%未満の場合は、ダイヤモンド状炭素薄膜の形成速度が低下し、80v/o1%を超えると、得られる薄膜がグラファイト状となる。

【0040】酸素や水素は放電中で原子状となり、ダイヤモンドと同時に生成するグラファイトを選択的に除去する効果を有する。酸素や水素をガス雰囲気に存在させるためには、前記した有機化合物のガスを用いる以外に、酸素ガス（O₂）や水素ガス（H₂）を用いても良い。酸素ガス又は水素ガスを用いる場合は、酸素ガス又は水素ガスのガス雰囲気中に占める濃度は、70v/o1%を超えないことが好ましい。70v/o1%を超える場合は、逆に、得られる薄膜がグラファイト状となる。

【0041】又、上記原料ガスは、炭素並びに酸素及び／又は水素を含有するガス以外のガスで希釈されても良い。希釈ガスを使用することは、特に安全性の観点から好ましい。本発明で使用される希釈ガスとしては、周期律第0族の元素のガス及び窒素ガスが挙げられ、これらの少なくとも1種が使用できる。具体的に例示すれば、ヘリウム、アルゴン、ネオン、キセノン、窒素ガスなどが挙げられる。希釈ガスのガス雰囲気中に占める濃度は、20～90v/o1%が好ましい。上記濃度が、20v/o1%未満の場合は、得られる薄膜がグラファイト状となり、90v/o1%を超えると、ダイヤモンド状炭素薄膜の形成速度が低下する。

【0042】更に、放電時のガス雰囲気にジボラン（B

H_3 、 BH_3 ）、ホスフィン（ PH_3 、 CH_3 、 PH_2 など）等のボロン元素、硼元素を含有するガスを加えて薄膜を形成することにより、半導体としての特性を向上させることもできる。

【0043】以下、基材表面にダイヤモンド状炭素薄膜を製造する方法について詳述する。本発明の方法は、一対の対向電極を有し、当該電極の対向面の少なくとも一方に固体誘電体が設置されている装置に於いて、上記電極の一方に固体誘電体を設置した場合は固体誘電体と電極の間の空間、上記電極の双方に固体誘電体を設置した場合は固体誘電体同士の空間に基材を設置し、当該空間中に発生する放電プラズマにより基材表面を処理するものである。

【0044】本発明に使用される基材としては、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレート、ポリフェニレンサルファイト、ポリエーテルエーテルケトン、ポリテトラフルオロエチレン、アクリル樹脂等のプラスチック、ガラス、セラミック、金属等が挙げられる。基材の形状としては、特に限定されるものではなく、板状、フィルム状、様々な立体形状を有する基材に適用できる。

【0045】図6に、本発明の製造方法を行う装置の一例を示す。この装置に於いては下部電極15上に固体誘電体16が設置されており、固体誘電体16と上部電極14の間の空間に放電プラズマが発生する。容器12は、ガス導入管18、ガス排出口20及びガス排気口21を備えており、原料ガスはガス導入管18から放電プラズマ発生空間13に供給される。本発明に於いては、発生した放電プラズマに接触した部位にダイヤモンド状炭素薄膜が形成されるので、図6の例では基材17の上面に該薄膜が形成される。基材の両面に該薄膜を施したい場合は、放電プラズマ発生空間13に基材を浮かせて設置すればよい。

【0046】雰囲気ガスはプラズマ発生空間に均一に供給されることが好ましい。原料ガスと希釈ガスの混合気体からなる雰囲気ガス中で放電プラズマ処理を行う場合、比重差が大きいため、供給時に不均一になり易く、これを避けるような装置の工夫がなされていることが好ましい。図6の装置に示された例では、ガス導入管18が多孔構造をもつ上部電極14に連結されており、原料ガスは、図示されていないガス混合器により混合された上で、上部電極14の孔を通して基材上方からプラズマ発生空間13に供給される。希釈ガスは、これと別に希釈ガス導入管19を通って供給される。気体を均一に供給可能であれば、このような構造に限定されず、気体を攪拌又は高速で吹き付ける等の手段を用いてもよい。

【0047】上記容器12の材質は、樹脂、ガラス等が挙げられるが、特に限定されない。電極と絶縁のとれた構造になつていれば、ステンレス、アルミニウム等の金属を用いることもできる。

【0048】

【発明の実施の形態】以下、本発明の方法を更に詳しく説明するために、実施例をもって以下に説明する。電源は、図4の等価回路図による電源（ハイデン社製、半導体素子：IXYS社製、型番TO-247ADを使用）を用いた。又、得られたダイヤモンド状炭素薄膜の評価方法は下記の通りである。

【0049】評価方法

(1) 膜の同定

10 ラマン分光装置（Nicollet社製、Raman 950）を使用して、得られた薄膜のラマン分光分析を行い、ダイヤモンドに帰属するラマンスペクトルのピーク値（1332/cm）の有無を確認することにより、得られた薄膜がダイヤモンド状炭素薄膜であることを同定した。

(2) 膜の性状

得られた膜の結晶粒径を走査型電子顕微鏡（日立製作所社製、EP-2000）で観察して評価を行った。

【0050】実施例1

図6に示した放電プラズマ処理装置を使用し、そのチャンバーの内容積が10リッターで、ステンレス製の容器12でできている。下部電極15は、直径が140mmで、表面を比誘電率16の酸化ジルコニア誘電体16で被覆し、その上にシリコン基板17を配置した。基材表面から2mm上方に上部電極14を配置した。上部電極14は、直径が80mmで、その上に直径1mmの孔が5mm間隔で配設し、表面を比誘電率16の酸化ジルコニア誘電体で被覆した。

【0051】油回転ポンプを用いて、上記放電プラズマ処理装置の中が0.1 Torrになるまで排気を行い、窒素ガスを希釈ガス導入管19から、装置内が760 Torrになるまで導入した。しかる後に、上部電極に接続したガス導入管18からアセチレン2sccmと窒素ガス998sccmとの混合気体を導入しながら、上部電極14と下部電極15の間に、波高値18kV、周波数8kHz、立ち上がり速度500ns、パルス継続時間20μsのパルス電界を印加して、3分間放電を行い、ダイヤモンド状炭素薄膜を成膜した。尚、放電電流密度は60mA/cm²で、成膜中の基板温度は100°Cであった。

【0052】得られた薄膜を前記した方法で評価した結果、ラマン分光分析で、1333/cmのダイヤモンドに帰属するピークが確認され、走査型電子顕微鏡観察では、粒径0.3~1μmの粒子が一面に並ぶダイヤモンドの結晶状態が観察された。断面観察から膜厚を測定した所、5点平均で0.5μmであった。それ故に、この時の成膜速度は1μm/時間であった。

【0053】実施例2

炭素含有ガスとして、エチルアルコール25sccmを使用したこと以外は、実施例1と同様にして、ダイヤモ

ンド状炭素薄膜を成膜した。得られた薄膜を評価した結果、ラマン分光分析で、 1333 cm^{-1} のダイヤモンドに帰属するピークが確認され、走査型電子顕微鏡観察では、粒径 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ の粒子が一面に並ぶダイヤモンド結晶状態が観察された。成膜速度は $0.8\text{ }\mu\text{m}/\text{時間}$ であった。

【0054】実施例3

基板をソーダガラス基板とした以外は、実施例1と同様にして、ダイヤモンド状炭素薄膜を成膜した。得られた薄膜を評価した結果、ラマン分光分析で、 1333 cm^{-1} のダイヤモンドに帰属するピークが確認され、走査型電子顕微鏡観察では、粒径 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ の粒子が一面に並ぶ結晶状態が観察された。成膜速度は $1\text{ }\mu\text{m}/\text{時間}$ であった。

【0055】比較例1

実施例1と同様のガス配合、基板に対し、 15 kHz 、 150 W の正弦波を加えて、ダイヤモンド状炭素薄膜の成膜を試みた。放電は生じるが、1時間の放電後も基板上に変化が見られず、ラマン分光分析でダイヤモンドに帰属するピークは得られず、走査型電子顕微鏡観察に於いても基板表面に特別な粒子の析出は見られなかった。

【0056】

【発明の効果】本発明の製造方法は、上述のように構成されているので、ダイヤモンド状炭素薄膜が大気圧近傍で、低温で高速に基板の上に成膜できる。従って、従来よりも耐熱性の低い基材にも適用でき、大気圧近傍で、高速で経済的に表面処理ができるので、適用用途範囲が広がり、例えば、透明採光材、透明導電材、切削工具の*

*表面保護層、光学用材料、電子材料、化学工業材料等に好適に用いられる。

【0057】

【図面の簡単な説明】

【図1】 パルス電界の例を示す電圧波形図である。

【図2】 パルス継続時間の説明図である。

【図3】 パルス電界を発生させる電源のブロック図である。

【図4】 パルス電界を発生させる電源の等価回路図である。

【図5】 パルス電界の動作表に対応する出力パルス信号の図である。

【図6】 本発明のグロー放電プラズマ処理装置の一例である。

【符号の説明】

11-1 高電圧パルス電源（交流電源）

11-2 直流電源

12 ステンレス製容器

13 放電プラズマ発生空間

20 14 上部電極

15 下部電極

16 固体誘電体

17 基材

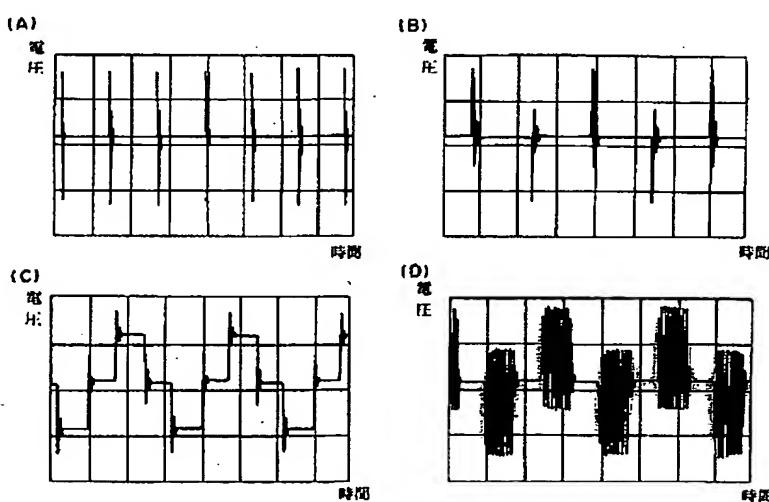
18 ガス導入管（炭素含有ガス）

19 希釈ガス導入管

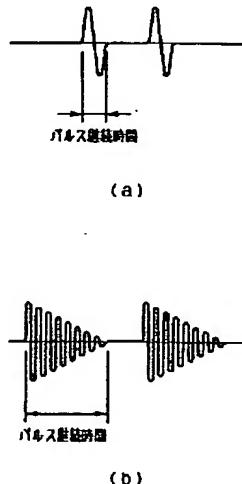
20 ガス排出口

21 排気口

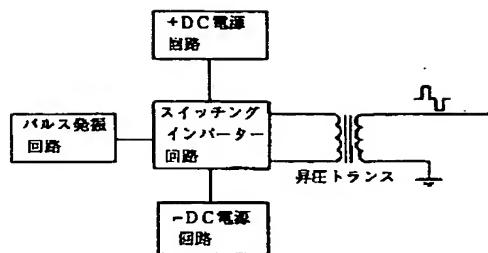
【図1】



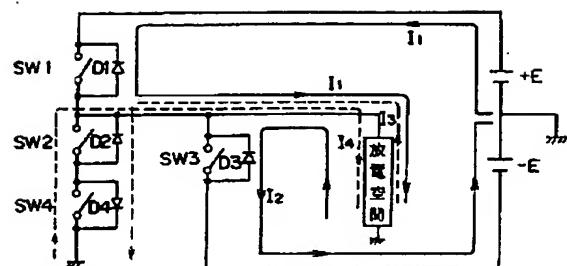
【図2】



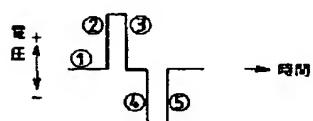
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

